

# Heterogén varratok fázisvezérelt ultrahangos vizsgálata

## Phased array ultrasound test of dissimilar metal welds

ERDEI Réka<sup>1</sup>, BÉZI Zoltán<sup>2</sup>, TAKÁCS Csaba<sup>2</sup>

<sup>1,2,3</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Mérnöki Divízió  
Cím: H-3519 Miskolc, Iglói út 2., telefon: +36-46/560-120, web: [www.bayzoltan.hu](http://www.bayzoltan.hu),  
<sup>1</sup> junior kutató, <sup>2</sup> vezető kutató, <sup>3</sup> tudományos munkatárs

### Kivonat

*Heterogén varratok (DMW) ultrahangos repedéskereső vizsgálata rendkívül kifinomult technológiát igényel, hiszen ezekben nagyszámú anyagfolytonossági hiba fordulhat elő. A vizsgálat bonyolultságát okozza a varrat nehéz hozzáférhetősége, ezért szükséges a vizsgálatok szimulációval történő segítése. Jelen tanulmányban a vizsgálat kiértékelésének nehézségeit részletezzük, valamint modellezés segítségével egy lehetőséget kínálunk a megfelelő vizsgálati eljárásra.*

**Kulcsszavak:** fázisvezérelt ultrahangos repedésvizsgálat, heterogén varrat, szimuláció, CIVA

### Abstract

*Ultrasound tests of dissimilar metal welds require extremely sophisticated technology, as many defects and discontinuities may occur. The complexity of the test is caused by the difficult accessibility of the weld and it is therefore necessary to redound the examinations by simulation. This study details the difficulties of evaluating the tests and provides an opportunity for appropriate ultrasound examination procedure through modelling.*

## 1. BEVEZETÉS

Az anyagfolytonossági hibák kimutatása rendkívül kifinomult technológiát igényel, amelynek egyik eszköze az iparban széleskörűen alkalmazott ultrahangos repedéskereső eljárás. A vizsgálat tárgyát képező heterogén varrat esetén két eltérő anyagot, egy ferrites és egy ausztenites korrózióálló acélt hegesztenek össze, amelyben durva, elnyúlt kristályos szövetszerkezet és kristálytani orientáltság alakul ki. A két anyag találkozásánál számos anyagfolytonossági hiba jelentkezik, amely általában feszültségkorróziós repedés, a tranziens varrat párnarétege és a ferrites alapanyag között.

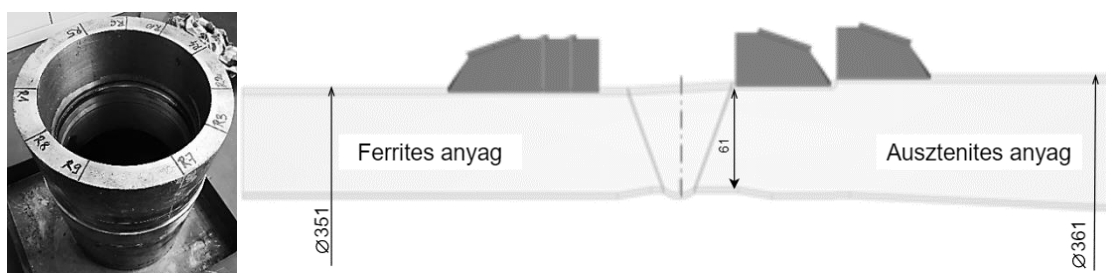
A varrat szövetszerkezete és a hibák elhelyezkedése miatt az egyik legmodernebb technikát, a fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatot alkalmazzuk a DMW (Dissimilar Metal Weld) indikációinak feltérképezésére. A DMW vizsgálata számos kérdést vet fel, hiszen vannak esetek, amikor valamelyik oldalról nem hozzáférhető a varrat, vagy a geometria miatt csak bizonyos távolságokra helyezhető a vizsgálófej, így ebben a tanulmányban a vizsgálatokat mindkét alapanyag (ferrites és ausztenites) felől, különböző indestávolságokat (a varrat középvonal és a vizsgálófej homloklapja közötti távolság) alkalmazva végeztük el és hasonlítottuk össze az eredményeket. Meghatározzuk a vizsgálat szempontjából legalkalmasabb beállításokat, valamint azt az indestávolságot is, amelyből a legjobban látszanak a vizsgált varratban előzetesen bemunkált hibák. Összehasonlítjuk továbbá a ferrites és az ausztenites oldalról készült vizsgálati képeket, valamint célunk az ausztenites oldalra egy különleges előtét tervezése.

A vizsgálatok elvégzését számítógépes modellezéssel készítettük elő. A szimulációk segítséget nyújtanak a vizsgálat teljes fázisában, a vizsgálati technika kiválasztásánál, a tervezésnél (indestávolság és referencia amplitúdó meghatározása) és a vizsgálati képek megítélésében is. Szimulációk segítségével lényegesen csökkenthető a vizsgálatok elvégzéséhez szükséges idő, valamint a mintadarabok száma is. A tanulmány során a célunk a DMW indikációinak pontos detektálása és méretezése, valamint a kis méretű indikációk esetében olyan vizsgálati paraméterek meghatározása a számítógépes szimulációk segítségével, amelyekkel az indikációk detektálási valószínűsége maximalizálható.

## 2. A VIZSGÁLT MINTADARAB ÉS A VIZSGÁLATI PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

A vizsgált darab egy 36 mm vastag, 361 mm külső átmérőjű cső hegesztési varrata. A varrat egy ferrites és egy ausztenites korrózióálló acél összehegesztéséből adódik. A mintadarabban 8 db mesterséges hiba, legtöbb a ferrites oldalon a párnarétegben, és 2 db repedés található. Valós esetekben a repedések főként a belső oldalon helyezkednek el a varrat ferrites oldalán és ezek vizsgálata csak külső oldalról lehetséges. Néhány esetben, a helyszíni vizsgálatokat, csak az ausztenites oldalról tudjuk elvégezni, mivel a ferrites oldalról a varrat nem hozzáférhető, mert a varrat közvetlenül a csonkcsatlakozásnál van. További problémát okoz az inhomogén hegesztési varrat a nagy szemcseméretével és az anizotrópiájával. Az anyag inhomogenitása az ultrahang terjedési sebességét befolyásolja, a nagy szemcseméret az anyag hanggyengítést növeli, az anizotrópia pedig módosítja az ultrahang sebességét, ezáltal a hangnyaláb irányát. Ezek a tényezők nagymértékben módosíthatják a hibák detektálhatóságát és méretezését. Az anyag inhomogenitásának és az szemcseorientáció hatását az ultrahang terjedésére számos tanulmányban taglalják [1] [2].

A vizsgált mintadarabot az 1. ábra mutatja. Az ausztenites oldalról való vizsgálatot egy átmérőkülönbségből adódó váll korlátozza, így erre az oldalra az előgyártott éket a vizsgálófejjel csak 25 mm indextávolságra, a váll elé, illetve 55 mm indextávolságra, a vállra lehet helyezni. Az ausztenites oldalról ebből a két távolságból végezzük el előzetesen a vizsgálatokat. A ferrites oldalról történő feltérképezést a mintadarabon semmi sem befolyásolja, így itt három indextávolságra, 30-40-50 mm-re helyezük a vizsgálófejet. A valóságban erről az oldalról nem minden esetben vizsgálható a darab, mint ahogy az előzőekben is említettük, ezeket a vizsgálatokat az összehasonlítás végett volt szükséges elvégezni.

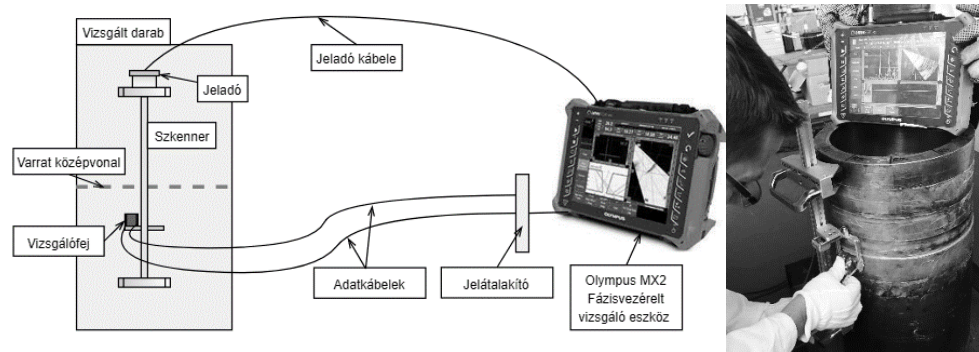


1. ábra A vizsgált mintadarab (bal), és sematikus ábrája méreteivel (jobb)

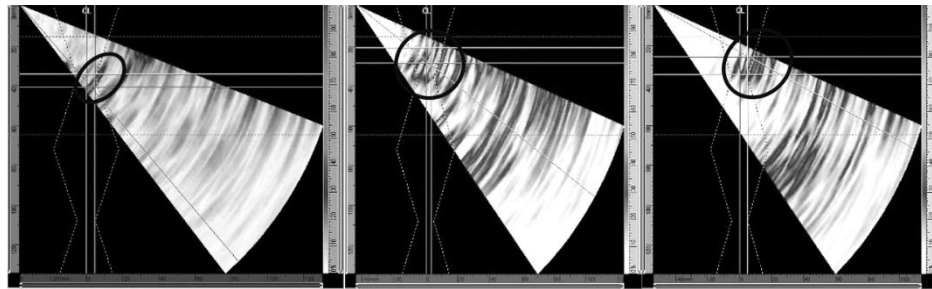
A vizsgálat elvégzéséhez az Olympus XAAB-10752 mátrix, fázisvezérelt vizsgálófejet használtuk, amellyel szektorális szkennelést végeztünk 40-70°, valamint 35-85° szögtartományban, 36 mm fókuszmélységet alkalmazva. A fej 2,25 MHz középfrekvenciájú, összesen 56 rezgőből épül fel, melyből 28 adóként, 28 pedig vevőként működik. A vizsgálatok elvégzéséhez először a referencia ellenőrző testen felvettük az un. TCG (time corrected gain) görbét, amely a különböző hangút távolságokban az erősítéseket adja meg, valamint megállapítottuk a longitudinális hullám hanggyengítését is, amely 5820 m/s-ra adódott. A TCG kalibrációt elkészítve, a referencia erősítés 32,4 dB, az alkalmazott erősítés pedig 44,4 dB (TCG erősítés+12 dB). A vizsgálat összeállítását a 2. ábra szemlélteti.

## 3. A KÜLÖNBÖZŐ VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA ÉS SZIMULÁCIÓIK

A vizsgálatok elvégzését követően összehasonlítottuk a különböző indextávolságból végzett vizsgálatok eredményeit. A 3. ábrán az R10-es jelölésű repedés S-képe látható ferrites oldalról 30, 40, illetve 50 mm-es indextávolságból. Ferrites oldalról 30 mm indextávolságról a hiba alig detektálható, míg a másik két távolságból markáns jel érkezik vissza.

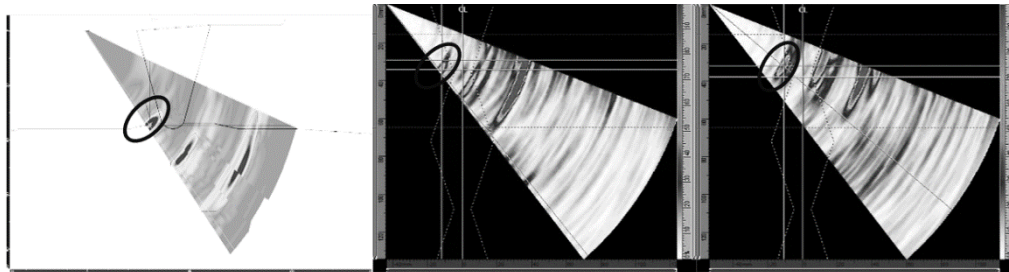


2. ábra A vizsgálati összeállítás (bal) és a helyszíni kivitelezése (jobb)



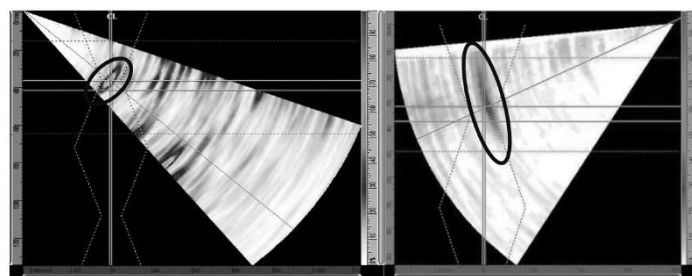
3. ábra Varratközépen elhelyezkedő valós repedés S-képe  
30, 40 illetve 50 mm indextávolságból

A vizsgálati eredményeket kiértékelve megállapítható, hogy ferrites oldalról 40 mm indextávolságból kapjuk a legnagyobb detektálási valószínűséget, azonban vannak hibák, amelyek 50 mm távolságból jobban értékelhetők, mint ezt a 4. ábra is mutatja. A bal oldali ábrán látható a szimulációs kép, amely segítségével megállapítható, hogy melyik indikáció érkezik a hibáról, valamint kiszűrhetők a mód konverzióból vagy a geometriából adódó jelek is.



4. ábra Indikáció szimulációs képe, valamint S-képe 40 mm (bal) és 50 mm (jobb) indextávolságból

Az ausztenites oldal vizsgálati eredményeit kiértékelve megállapítható, hogy a váll elé helyezett vizsgálófej túl közeli, a vállra helyezett pedig már távoli a megfelelő vizsgálati kiértékeléshez. Az 5. ábrán látható egy példa arra, hogy ausztenites oldalról (jobb ábra) egy halvány jel érkezik, míg a ferrites oldalról az indikáció sokkal markánsabb.

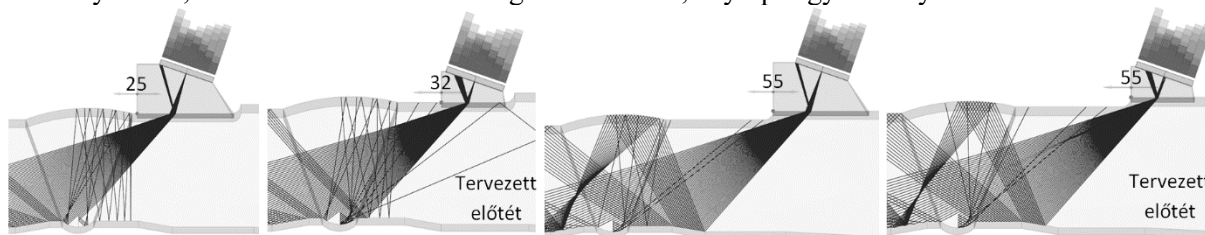


5. ábra Indikáció S-képe 40 mm (bal) és 50 mm (jobb) indextávolságból

A vizsgálati eredmények kiértékeléséből megállapítható, hogy az adott esetben a ferrites oldalról detektálhatók a hibák a legjobban, 40 mm indextávolságból, azonban megfelelő vizsgálati beállításokkal az ausztenites oldalról is elvégezhetőek a vizsgálatok, ám ezek detektálhatósági valószínűsége jóval alacsonyabbak. A kisebb hibák detektálási valószínűségének növelése érdekében szükséges egy egyedi előtét tervezése a vizsgálófejhez, amelyet a CIVA szoftver segítségével végezhető el.

#### 4. EGYEDI VIZSGÁLÓFEJ ELŐZETES TERVEZÉSE

Egy ék tervezésénél szem előtt kell tartani, hogy milyen vizsgálati technikával dolgozunk. Az általunk alkalmazott fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatnál figyelembe kell venni, hogy a szektorális szkennelést két szögtartományból, 40-70° és 35-85°-os tartományokban szeretnénk elvégezni. A geometria nem befolyásolhatja a hangnyaláb terjedési irányát, azaz az ultrahang nem verődhet vissza az ék oldalfaláról, valamint a mintadarab vállrészéről sem. A 6. ábrán látható egy sokkal kisebb, alacsonyabb ék, az eredeti kereskedelmi forgalomban lévő, Olympus gyártmányú ékkel összehasonlítva.



6. ábra Kereskedelmi forgalomban lévő és egy tervezett előtét váll elé és vállra helyezve

A kisebb ék teljes mértékben ugyanazt a törési szöget tudja leképezni, mint az eredeti előtét, azonban ennek segítségével 25-55 mm közötti holt tér (amely indextávolságból nem vizsgálható a varrat) 32-55 mm-re szűkül, valamint a vállra helyezve a vizsgálófejet szintén erősebb jelet kapunk ugyanarról a hibáról. Megállapítható, hogy az előzetesen tervezett ék használatával a detektálás valószínűsége javítható, azonban szükséges további előtétek tervezése, valamint a legyártott ékekkel történő vizsgálat is. Ebben a cikkben a fentebb részletezett vizsgálati probléma bemutatását, valamint egy lehetséges megoldását taglaltuk.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során egy heterogén hegesztési varrat ultrahangos vizsgálatának tervezését, kivitelezését készítettük el, valamint jelen dokumentumban bemutattuk a további fejlesztésének kezdetleges lépéseit. A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálat tervezéséhez, az eredmények kiértékeléséhez, valamint a további fejlesztéshez a CIVA szimulációs szoftvert használtuk. Segítségével meghatároztuk az erősítéseket, indextávolságokat, amelyeket a helyszíni kivitelezés során alkalmaztunk. Az eredmények kiértékelése során a szimulációs képeket felhasználva meg tudtuk állapítani a kapott indikációk helyességét, valamint értelmezni tudtuk a geometriából származó anomáliákat is. Összehasonlítottuk mind a ferrites, mind az ausztenites oldalról kapott vizsgálati eredményeket, majd megállapítottuk a vizsgálófej megfelelő helyzetét a varrattól. A kiértékelést követően kijelenthető, hogy az ausztenites oldalról történő vizsgálat további fejlesztéseket igényel, melynek első lépése a megfelelő előtét tervezése. Erre a feladatra adtunk meg egy lehetséges megoldást, amely alkalmazásával a vizsgálat holt tere beszűkíthető.

Összegezve elmondható, hogy a szimulációk nagymértékben elősegítik az ultrahangos vizsgálatok helyszíni kivitelezését, hiszen velük előre tervezhető a teljes vizsgálat, segít az eredmények kiértékelésében, valamint a további fejlesztésekben.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] S. Ahmed, R.B. Thompson, P.D. Panetta: Effect of preferred grain orientation and grain elongation on ultrasonic wave propagation in stainless steel, AIP Conference Proceedings, 2003
- [2] Z. Bézi, Sz. Szávai, J. Dudra, I. Méhész, Cs. Takács: Az ultrahangvizsgálat támogatása numerikus modellezéssel heterogén kötések esetén, XXIV. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, EMT, Kolozsvár, Románia, p.516, 2016